

aussitôt la respiration s'affaiblit, se ralentit, s'arrêter même parfois, et en tous cas devenir insuffisante. L'oxygène n'est plus fourni en quantité suffisante, les combustions se ralentissent, l'animal se refroidit et meurt; on a souvent employé ce moyen dans les laboratoires de physiologie pour transformer un animal à sang chaud en animal à sang froid, par un refroidissement lent et graduel. Quelques cas accidentels ont permis de constater sur l'homme des états tout semblables, après destruction d'une grande partie ou de la presque totalité de la peau. Dans nos villes de grandes brasseries, il n'arrive que trop souvent qu'un garçon brasseur tombe dans une des immenses chaudières de ces établissements. Retiré très vite, il n'en présente pas moins une brûlure, parfois très légère, mais en tout cas très étendue et qui a profondément modifié la peau au point de vue nerveux, comme cela arrive pour la sensibilité de toutes les surfaces dont l'épithélium est altéré. Dans quelques cas de ce genre, nous avons pu observer que la respiration ne se continue avec son ampleur et son intensité normales que grâce à l'intervention de la *volonté*. Le patient respire alors parce qu'il veut respirer, et le réflexe physiologique étant insuffisant par défaut dans les voies centripètes, les mouvements du thorax ne présentent plus ni leur forme rythmique ni leur apparente spontanéité normale; mais si le malade *oublie de respirer*, les mouvements du thorax deviennent lents et faibles comme chez les animaux enduits d'un vernis; la température du corps s'abaisse, et n'est maintenue que par l'action de la volonté sur la respiration. Il est évident qu'ici une des sources, la *source cutanée*, si l'on peut ainsi s'exprimer, du réflexe respiratoire, a été supprimée, et que l'action du pneumogastrique seul est devenue insuffisante pour provoquer l'action du système nerveux central. La volonté supplée à ce manque d'impulsion extérieure, jusqu'à ce que les malheureux soumis à cet étrange supplice succombent enfin à la fatigue et s'endorment. La respiration devient alors assez faible pour amener un refroidissement considérable et finalement la mort<sup>1</sup>.

Le rôle de la peau dans la respiration nous est encore démontré par un grand nombre de pratiques médicales devenues tout à fait vulgaires,

<sup>1</sup> De même que le pneumogastrique seul ne suffit plus à provoquer la respiration lorsque les impressions amenées par les nerfs cutanés sont supprimées, de même les nerfs cutanés seuls ne suffisent pas à entretenir le réflexe, lorsque les pneumogastriques sont coupés. C'est sans doute à cette cause qu'il faut attribuer la mort des animaux chez lesquels on a sectionné les nerfs vagues. Les physiologistes ont cherché dans l'estomac, dans le cœur, dans le poumon, la cause de la mort qui suit si fatalement cette opération. De nombreuses expériences prouvent que ce sont surtout les troubles pulmonaires qui sont en jeu; et comme on a vu souvent des animaux, dont les pneumogastriques avaient été coupés, mourir en quelques jours sans que l'autopsie vint révéler aucune altération pulmonaire, il faut attribuer la mort uniquement à la suppression des filets sensitifs ou centripètes des pneumogastriques. (V. Paul Bert, *Leçons sur la physiologie comparée de la respiration*, p. 496.)

et qui consistent à rappeler et à exciter les mouvements respiratoires par des irritants portés sur la peau. Telles sont les frictions, les affusions d'eau froide, les cautérisations, moyens plus énergiques qui parviennent parfois à rappeler les noyés à la vie; telles sont encore les diverses pratiques par lesquelles on détermine chez le nouveau-né le premier mouvement d'inspiration, parfois lent et paresseux à se produire, etc.

3° *Voies centrifuges*. — Les voies centrifuges du réflexe respiratoire ont à peine besoin d'être indiquées ici; l'anatomie nous montre assez que ce sont tous les nerfs moteurs qui se détachent des parties cervicale et dorsale de la moelle pour se rendre aux muscles des parois thoraciques. Signalons seulement, comme plus remarquable, le nerf *phrénique*, qui se détache du *plexus cervical* pour aller innervier le diaphragme; aussi peut-on, par des sections de la moelle au-dessous de l'origine de ce nerf, paralyser tous les muscles respiratoires, et ne laisser fonctionner que le diaphragme, qui, à la rigueur, peut suffire à lui seul à la respiration.

## II. — Chaleur animale.

### 1° Sources de la chaleur animale.

L'étude que nous avons faite des phénomènes pulmonaires, de la respiration des tissus et de la température du sang, nous permettra d'étudier rapidement la question de la chaleur animale, question dont nous connaissons déjà les données fondamentales, et qui n'a besoin que d'être complétée par quelques détails spéciaux.

Il est un fait connu depuis longtemps, c'est que la température des animaux supérieurs est indépendante jusqu'à un certain point de la température ambiante; on appelle ces animaux des animaux à *température constante*; ce sont les mammifères et les oiseaux. Dans les autres groupes du règne animal, la température du corps suit plus ou moins les variations de température extérieure; ce sont des animaux à *température variable*. On a encore appelé, mais moins heureusement, les premiers, *animaux à sang chaud*; les seconds, *animaux à sang froid*<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> « Chez les animaux à sang chaud et chez les animaux à sang froid, il existe des différences dans les propriétés physiologiques des muscles et des nerfs, différences qui peuvent être, du reste, le fait de l'influence des modificateurs ambiants. C'est ainsi que les muscles et les nerfs d'une marmotte engourdie, ou ceux d'un lapin placé dans certaines conditions (refroidissement lent) qui le font ressembler à un animal à sang froid, sont tout à fait semblables à ceux d'une grenouille ou d'une tortue observées pendant l'hiver.

Chez l'homme, la température est constante; un thermomètre, placé dans l'aisselle, donne constamment la température de 37° environ; si on pénètre plus profondément dans l'économie, on trouve que la température augmente légèrement; dans les extrémités, exposées à des déperditions considérables, la température est un peu plus basse.

Pour maintenir ainsi la température du corps et résister aux influences de la température ambiante, l'économie produit de la chaleur, d'une part, et, d'autre part, possède des moyens énergiques pour éliminer la chaleur en excès.

Aujourd'hui il est bien démontré que les sources de la chaleur animale sont les combustions qui se produisent dans l'organisme; nous brûlons, au moyen de l'oxygène fourni par la respiration, le carbone et l'hydrogène des aliments ou de nos propres tissus (inanimation). On sait que la capacité calorifique du carbone est de 8000 calories, celle de l'hydrogène de 34 000, c'est-à-dire que, pour passer à l'état d'acide carbonique ou d'eau, une unité de chacun de ces corps produit une quantité de chaleur capable d'élever de 0° à 100° le premier 80 kilogrammes, le second 340 kilogrammes d'eau.

La chaleur produite par l'organisme humain en vingt-quatre heures peut être évaluée de 2700 à 3250 calories en moyenne (on appelle calorie ou unité de chaleur la quantité de chaleur nécessaire pour élever la température de 1 kilogramme d'eau de 0° à 1°), ce qui donne 112 calories par heure.

L'organisme humain produit environ 112 calories par heure pendant le repos, et 271 pendant le mouvement (Hirn); d'après Helmholtz, le chiffre de calories formées par heure pendant le sommeil tombe à 36 environ.

On voit que nous pouvons produire des quantités considérables de chaleur en vingt-quatre heures, et que ces quantités seront d'autant plus élevées que la nutrition sera plus active, les aliments plus abondants et plus riches en carbone et en hydrogène. Aussi la nourriture

Chez les animaux engourdis, la propagation de l'excitation nerveuse se fait lentement, et la contraction musculaire dure après que l'excitation du nerf a cessé, tandis que chez les animaux non engourdis, la contraction musculaire se fait rapidement au moment de l'excitation et cesse avec elle. Legros a observé, pendant l'hibernation chez le loir, des phénomènes qui montrent de plus en plus l'identité des animaux à sang froid et des animaux en hibernation. Il se passe chez ces derniers des phénomènes de réintégration qui n'ont jamais lieu pendant la veille. Si, dans cet état, par exemple, on coupe la queue à l'animal, elle peut repousser. (Voy. P. Bert, *Recherches expérimentales pour servir à l'histoire de la vitalité propre des tissus animaux*, 1866.)

des habitants des pays froids doit-elle être bien plus riche que celle des habitants des régions tropicales, et surtout beaucoup plus riche en hydrocarbures peu oxygénés, comme les graisses que les Lapons absorbent en si grande abondance.

La chaleur ainsi produite sert à maintenir le corps à 37°, à élever à cette température les boissons introduites, etc.

Quant aux lieux précis où se produisent ces combustions, nous avons vu, à propos de la respiration, que ce n'est point au niveau du poumon, mais bien au niveau des capillaires, dans l'intimité des tissus<sup>1</sup>. Nous savons, de plus, que le sang veineux est en général le plus chaud, puisque, en devenant artériel au contact de l'air pulmonaire, il subit en même temps un léger refroidissement. Plus la combustion est vive dans un organe, plus le sang veineux qui en sort est chargé de chaleur, témoin le sang des veines sus-hépatiques et le sang veineux d'un muscle en contraction. Tout le monde est d'accord aujourd'hui sur la complexité des phénomènes qui produisent la chaleur animale. Ce qui a divisé un instant les physiologistes, c'est l'importance comparative des réactions dont le sang est le siège, et de celles qui se passent dans l'intimité des tissus. Pasteur,

<sup>1</sup> Cl. Bernard s'est attaché à déterminer la *topographie* de la chaleur dans les différents troncs de l'arbre artério-veineux. Pour cette recherche, il s'est servi d'appareils thermo-électriques sensibles à 1/50 de degré, et formés d'aiguilles soudées, placées dans une bougie de gomme élastique. L'expérience se fait avec ces appareils de la manière suivante. Sur un chien, l'artère et la veine crurale étant découvertes, dans la région inguinale, on introduit dans chaque vaisseau une bougie munie de l'aiguille thermo-électrique. A quelque profondeur que l'on pousse la sonde introduite dans l'artère, on trouve que la température est constante dans ce vaisseau aussi bien que dans l'iliaque, dans l'aorte abdominale, thoracique jusqu'au ventricule gauche. Au contraire, à mesure qu'on enfonce la sonde qui est placée dans la veine, on voit la température s'élever peu à peu, à mesure que l'extrémité de la sonde arrive dans les parties de la veine cave plus rapprochées du diaphragme. C'est lorsque cette extrémité est arrivée au niveau du diaphragme, que l'on constate la température la plus élevée. En ce point, les veines sus-hépatiques viennent se jeter dans la veine cave inférieure. Cette expérience, modifiée de diverses manières, donne toujours des résultats concordant avec la théorie qui place dans le système capillaire la production de la chaleur animale. Si le sang des veines périphériques (surtout des veines superficielles des membres) est plus froid que le sang artériel, c'est qu'il y a une déperdition de calorique qui en diminue la température; lorsqu'on examine, au contraire, comme dans les expériences types que nous venons de rappeler, le sang des veines sus-hépatiques, qui n'a point subi cette perte de chaleur, on y trouve l'excès de température que la théorie devait faire admettre. Si pendant l'expérience l'animal s'agit, la température du sang veineux augmente (la contraction musculaire a produit de la chaleur.) (Voy. Cl. Bernard, *Leçons sur la chaleur animale, sur les effets de la chaleur et sur le fièvre*, Paris, 1876, et *Physiologie opératoire*, 1879.)

Blondeau, Camille Saint-Pierre accordaient la prépondérance aux premières; mais Cl. Bernard a démontré qu'il n'y a réellement à tenir compte que des phénomènes qui se passent au niveau des tissus. Pour lui, c'est dans la profondeur des organes, au contact des éléments histologiques, que la chaleur s'engendre par les réactions chimiques dont s'accompagne leur nutrition et leur fonctionnement. Et ces réactions sont infiniment complexes; elles peuvent être des dédoublements, des fermentations, etc. En effet, ce serait une erreur de croire, comme on l'a fait longtemps, qu'il soit possible de calculer exactement, d'après l'hydrogène et le carbone brûlés dans l'économie pendant un temps donné, les quantités de chaleur dégagée pendant ce même temps. Ainsi, dans de nouvelles recherches confirmatives à cet égard des idées de Cl. Bernard, d'Arsonval, grâce à l'emploi d'un appareil calorimétrique donnant simultanément l'enregistrement automatique de la chaleur dégagée et les déchets provenant des combustions respiratoires, a rendu évidente l'erreur longtemps classique qui consiste à calculer, à l'aide des produits de la respiration, la quantité de chaleur dégagée par un animal. C'est qu'en effet beaucoup de réactions qui se passent dans l'organisme s'accompagnent d'un dégagement de chaleur sans production de gaz, ou inversement<sup>4</sup>. Ainsi la calorimétrie directe montre que l'œuf en incubation absorbe, pendant les premiers jours, beaucoup de chaleur, et qu'en même temps, il y a absorption d'oxygène et dégagement d'acide carbonique; ne tenant compte que de ce dernier fait, la méthode chimique eût conclu dans ce cas à un dégagement de chaleur. En général, l'auteur n'a presque jamais trouvé de concordance entre la chaleur mesurée directement et la chaleur calculée d'après les combustions respiratoires. Cela tient, d'une part, à ce que les combustions organiques sont de l'ordre des fermentations, et de ce que, à côté des combustions, il y a des synthèses organiques, lesquelles s'accompagnent d'une absorption de chaleur. C'est le cas de l'œuf en incubation.

Mais on a cherché à localiser encore avec plus de précision le lieu des combustions; se produisent-elles dans les éléments histologiques eux-mêmes, ou bien dans les capillaires qui sont en contact avec les éléments histologiques? Sur cette question, les physiologistes allemands, qui en ont fait une étude particulière, sont divisés en deux écoles: 1<sup>o</sup> Pour Ludwig et ses élèves, c'est dans l'intérieur des capillaires que se passe l'acte d'oxydation et la production d'acide carbonique. Les

<sup>4</sup> Recherches sur la chaleur animale, note de A. d'Arsonval (*Compt. rend. Acad. des sciences*, 11 juillet 1881).

arguments invoqués en faveur de cette manière de voir reposent surtout sur les analyses des *gaz de la lymphe* par Hammarsten. Elles montrent que ce liquide, qui charrie directement les produits de désintégration des tissus, renferme moins d'acide carbonique que le sang veineux. D'où cette conclusion que l'acide carbonique ne se produit pas au niveau même des éléments histologiques. 2<sup>o</sup> Pflüger pense que la tension de l'acide carbonique dans la lymphe ne nous donne pas la mesure exacte de la tension de ce gaz dans les éléments histologiques eux-mêmes. Pour mesurer aussi directement que possible cette tension, Pflüger s'adresse aux sécrétions normales de l'économie (bile, salive), qui, résultant directement de la fonte des éléments cellulaires, doivent représenter exactement le contenu de ceux-ci en acide carbonique. Or, dans tous ces produits de sécrétion, la tension de l'acide carbonique est bien plus considérable que dans le sang veineux. Pflüger en conclut que l'acide carbonique se forme dans les tissus et non dans le sang, et que le siège précis des combustions respiratoires se trouve dans l'intimité de ces derniers.

La chaleur ainsi produite dans toutes les parties de l'économie, et plus spécialement dans quelques foyers internes (foie), est régulièrement répartie dans le corps par la circulation du sang. Ainsi plus une partie est vasculaire, plus la circulation y est active, et plus la température de cette partie se rapproche du maximum qu'elle puisse atteindre; en plusieurs régions (choroïde, articulations, etc.), la richesse vasculaire n'a pas d'autre but à remplir que la caléfaction (*Voy. Circulation et Vaso-moteurs*).

Des déperditions de chaleur se font par la surface du corps quand le milieu ambiant est d'une température inférieure à la nôtre; mais l'économie présente plusieurs dispositions éminemment aptes à diminuer les fâcheux résultats de ce rayonnement. Le corps tout entier est revêtu par une enveloppe cornée constituée par les couches superficielles de l'épiderme. De plus, la plupart des régions du corps sont couvertes de duvet, de poils, qui tiennent emprisonnée une couche d'air formant un revêtement aussi mauvais conducteur de calorique que les couches épidermiques. Enfin, dans le derme, on trouve une couche spéciale (*Voy.*, pour toutes ces parties: *Physiologie du tégument externe*) nommée *pannicule adipeux*, formée de cellules pleines de graisse, et qui constituent une enveloppe protectrice au point de vue calorifique, d'autant plus développée que la perte de chaleur serait plus facile (par exemple, chez le nouveau-né, chez les animaux des contrées glaciales). Nous avons, de plus, des courants sanguins nombreux et considérables qui circulent avec beaucoup plus d'activité que ne le nécessite la nutrition, dans les parties particulièrement exposées au refroidissement, comme le pa-

villon de l'oreille, la face (le nez en particulier), la main et l'extrémité des doigts, et qui augmentent considérablement la chaleur de ces parties.

Il est plus difficile à l'organisme de lutter contre les élévations exagérées de la température extérieure. Nous retrouvons utilisés dans ce même but les organes cités précédemment et doués d'un faible pouvoir conducteur, comme les couches épidermiques, l'air emprisonné par les revêtements pileux, le pannicule adipeux lui-même. Mais ce qui agit surtout pour lutter contre une trop grande élévation de température, ce sont les phénomènes d'évaporation qui se produisent au niveau du poulmon et de la surface cutanée.

Pour ce qui est du poumon, nous savons qu'en général, tandis que les 10 mètres cubes d'air inspirés par vingt-quatre heures ne contiennent que 50 à 60 grammes de vapeur d'eau, l'air expiré en renferme en moyenne 300 à 400 grammes, et souvent plus; or, le calcul démontre que nous perdons facilement 200 à 300 calories employées à mettre cette eau à l'état de vapeur à 35° ou 36° (température de l'air expiré); cette déperdition de calorique peut être portée beaucoup plus loin, et, par exemple, chez les animaux qui, comme le chien, ne jouissent guère que de la transpiration pulmonaire, elle peut représenter le principal moyen d'équilibre de la chaleur intérieure, quand celle-ci tendrait à s'élever trop haut, comme dans les exercices violents, dans la course, etc.

Mais, chez l'homme, c'est surtout l'évaporation au niveau de la surface cutanée, l'évaporation de la sueur, qui nous permet de lutter contre l'excès de chaleur. Nous traiterons plus longuement ce sujet en étudiant les fonctions de la peau et principalement la sécrétion des *glandes sudoripares*; qu'il nous suffise de signaler ici que cette fonction de l'exhalation cutanée nous permet seule d'expliquer la plus facile résistance aux chaleurs sèches qu'aux chaleurs humides; contre ces dernières, nous pouvons à peine lutter par l'évaporation, puisque le milieu ambiant est déjà presque saturé de vapeur d'eau. On connaît des exemples étonnants de neutralisation d'une chaleur extérieure énorme, grâce à une sudation violente et à une évaporation considérable de la sueur. C'est ainsi qu'on cite des exemples d'individus ayant résisté pendant dix-neuf minutes et plus à une température de 130°. Dans ces cas, la sécrétion sudorale peut devenir cent fois plus considérable qu'à l'état normal, et produire, par suite, une grande perte de chaleur, puisque nous savons que la chaleur latente de vaporisation de l'eau est égale à 540.

L'homme, à tous les âges, a une température en rapport avec les combustions qui se produisent dans ses tissus. L'enfant qui vient

de naître a déjà une température presque égale à notre température normale, mais un peu inférieure; mais il est très sensible aux variations extérieures, et très peu apte à maintenir sa température propre. On a pu, à ce sujet, établir expérimentalement quelques lois générales. Les animaux, mammifères ou oiseaux, qui naissent avec les yeux ouverts ou avec du duvet sur le corps, peuvent maintenir leur température égale à celle qu'ils ont reçue en naissant, pourvu que les causes de déperdition soient peu prononcées (l'homme particulièrement est dans ce dernier cas); au contraire, les oiseaux nus, les mammifères qui naissent les yeux fermés, et l'enfant né avant terme, ne peuvent maintenir cette température. Ainsi le lapin ne peut se maintenir en naissant à la température de 35° ou 36°. C'est le peu d'activité des combustions qui est la cause du peu de résistance au refroidissement chez tous les jeunes animaux, de même qu'elle est la cause de leur résistance à l'asphyxie; car, la respiration étant peu active, la privation d'oxygène doit avoir moins d'influence que chez les individus qui ont besoin d'en consommer une grande quantité (adultes) (Voy. p. 444) <sup>1</sup>.

Chez l'homme, au fur et à mesure que la respiration s'active, la chaleur produite augmente, et, au bout de quelques mois d'existence, la résistance de l'enfant au refroidissement est déjà très prononcée. Plus tard, la respiration de l'adolescent doit être considérée comme supérieure à celle de l'adulte; si l'adulte consomme 100, l'adolescent consomme 150.

Mais, à partir de l'époque où la croissance est achevée, on constate une diminution dans la production de l'acide carbonique et dans la quantité de chaleur animale; cela ne veut pas dire que la température doive s'abaisser sensiblement, car, plus le corps est volumineux, moins les causes de déperditions par rayonnement sont prononcées. En effet, le refroidissement par rayonnement agit d'autant plus énergiquement sur un animal, que sa taille, son volume sont moindres, les surfaces par lesquelles s'opère la déperdition ne variant entre les individus de forme semblable que comme les carrés, tandis que les volumes varient comme les cubes des diamètres; pas conséquent, un individu adulte qui pèserait, par exemple, huit fois plus qu'un autre (enfant) n'a cependant qu'une surface quadruple et se trouve proportionnellement deux fois moins refroidi par le fait du rayonnement (2. — 4. — 8.). Ceci nous explique pourquoi les animaux de petite taille produisent (relativement à leur poids, à leur volume) plus de chaleur que les grands animaux, car ils en perdent

<sup>1</sup> Voy. Gavarret, *De la chaleur produite par les êtres vivants*. Paris, 1855.

plus par rayonnement et par contact, vu leur plus grande surface (toujours relativement à leur volume).

Chez les vieillards, où les phénomènes de nutrition et de combustion diminuent, la chaleur animale est plus faible que chez l'adulte. Ainsi il y a toujours rapport entre la consommation de l'oxygène, la production d'acide carbonique et la production de chaleur. (V. encore *Physiologie du muscle.*)

Ces faits présentent de nombreuses applications à la pathologie; dans le choléra, par exemple, où la respiration n'est plus une fonction proprement dite, mais semble, vu l'état du sang, réduite à l'entrée et à la sortie de l'air, il y a refroidissement complet. Dans les affections fébriles, il y a une augmentation de calorique, et nous savons, en effet, qu'il y a dans ce cas une grande activité dans la circulation, dans la respiration, et dans les combustions qui se passent au niveau des tissus.

1° *Influence du système nerveux sur la chaleur animale.*

a. *Sur la production de la chaleur.* — Le système nerveux exerce une influence évidente sur la production de la chaleur animale, influence complexe et qu'il est encore fort difficile d'analyser à certains points de vue. Puisque la chaleur produite par les organes (muscles, glandes, centres nerveux) est en raison directe de l'activité de leur fonctionnement (c'est-à-dire des oxydations qui s'y produisent), il est évident que les nerfs qui amènent ce fonctionnement amènent par cela même une augmentation dans la production de la chaleur. Aussi avait-on remarqué depuis longtemps (Haller) que les membres paralysés sont d'ordinaire plus froids que les membres sains. Mais malheureusement cette influence fut mal comprise par quelques expérimentateurs. Ainsi Brodie et Chossat, ayant enlevé l'encéphale et coupé la moelle épinière à des animaux chez lesquels ils entretenaient la respiration artificielle (cause de refroidissement si elle est faite trop activement), et ayant alors constaté un abaissement notable de la température, en arrivèrent à attribuer exclusivement la calorification à une influence plus ou moins mystérieuse du système nerveux. Aujourd'hui il est bien reconnu que c'est en agissant sur les tissus et en amenant les processus chimiques d'oxydation ou de dédoublement, qui accompagnent leurs manifestations vitales, que le système nerveux céphalo-rachidien modifie en même temps la production de chaleur animale.

Mais l'influence du *grand sympathique* sur la calorification est encore aujourd'hui difficile à préciser. On sait que la section du grand

sympathique ou sa paralysie amène une hyperémie dans les parties correspondantes du corps; cette hyperémie est accompagnée d'une élévation de température. Par contre, la galvanisation du bout périphérique du grand sympathique amène une anémie des parties correspondantes, anémie qui est accompagnée d'un abaissement de température (V. p. 259). Les variations locales de température sont-elles dues uniquement à un afflux plus ou moins considérable de sang, qui est le véhicule de la chaleur produite dans les principaux foyers internes de combustion (foie, rate, viscères en général), ou bien le grand sympathique, en dehors de ses filets vaso-moteurs, exerce-t-il une influence directe sur la calorification? Nous avons vu précédemment (p. 262) qu'il faut reconnaître, d'après les recherches de Cl. Bernard, deux ordres de nerfs vaso-moteurs : les *vaso-constricteurs* et les *vaso-dilatateurs*. Or, l'expérience montre qu'il y a deux ordres de phénomènes de température en rapport avec les deux actions vaso-motrices, c'est-à-dire que les nerfs dilatateurs sont en même temps *calorifiques*, tandis que les constricteurs sont *frigorifiques*. Le système nerveux semblerait donc, au premier abord, n'attendre la calorification, comme la nutrition, que par l'intermédiaire de la circulation. Mais les expériences les plus récentes de Cl. Bernard l'ont amené à admettre une action du grand sympathique différente de l'action vaso-motrice et qui aurait pour conséquence une suractivité dans les échanges chimiques avec production directe de calorique<sup>1</sup> (V., du reste, les considérations analogues que nous avons présentées à propos de l'influence du système nerveux sur les sécrétions, p. 306). Inversement, ce n'est pas seulement parce qu'ils rétrécissent les vaisseaux que les nerfs vaso-constricteurs produisent le froid; c'est parce qu'ils refroidissent et ralentissent en même temps le mouvement chimique de nutrition.

Il faudrait donc dire désormais qu'indépendamment de l'action vaso-motrice, le grand sympathique exerce une action thermique : calorifique par les vaso-dilatateurs, frigorifique par les vaso-constricteurs.

La fièvre, caractérisée essentiellement par une élévation de la température normale, est le résultat, au point de vue de la physiologie pathologique, d'une suractivité des nerfs calorifiques.

b. *Sur la répartition et la déperdition de la chaleur.* — Si le rôle du système nerveux sur la *production locale* de chaleur est une question encore délicate à résoudre, il n'en est plus de même de son rôle sur la *répartition de la chaleur*; ici il est facile de comprendre comment les vaso-moteurs fonctionnent pour répartir différemment le sang, c'est-à-dire la chaleur, selon les circonstances, dans les parties profondes ou dans les parties superficielles et régler ainsi la déperdition de calorique.

L'appareil vasculaire représente un système de canaux dans lesquels circule un liquide chauffé, le sang; et si les organes internes pro-

<sup>1</sup> Cl. Bernard, *Leçons sur la chaleur animale, sur les effets de la chaleur et sur la fièvre*. Paris, 1876.

duisent constamment de la chaleur, et que cependant leur température reste constante, c'est que le sang réparti dans les vaisseaux de la surface du corps est soumis, par rayonnement, à une déperdition de calorique, déperdition variable selon les conditions de milieu. C'est là une donnée qui peut paraître assez difficile à comprendre au premier abord, parce qu'elle semble présenter quelque chose de contradictoire, quand on ne considère pas les rapports qui lient entre elles les diverses parties de l'organisme : on peut hésiter à comprendre comment une circulation cutanée plus active, qui produit une augmentation de température de la peau, détermine un abaissement de la température centrale; mais il est bien évident que plus la peau est chaude, plus elle perd de calorique par rayonnement, ou, en d'autres termes, que plus est considérable la quantité de sang qui passe par les vaisseaux de la peau, plus est considérable le refroidissement de la masse du sang total de l'organisme. De même, si l'on hésite d'abord en face de la donnée d'après laquelle une circulation cutanée plus restreinte, qui ne lutte que d'une façon tout à fait insuffisante contre les causes de refroidissement du tégument, et engendre les sensations subjectives de froid, peut avoir pour conséquence une élévation de la température centrale, il est bien évident qu'ici les effets sont inverses des précédents, c'est-à-dire que la peau froide rayonne moins de calorique, et que l'anémie des vaisseaux cutanés a pour conséquence un moindre refroidissement de la masse du sang. Examinons donc quels sont les mécanismes nerveux qui président à l'état de resserrement ou de dilatation des vaisseaux cutanés dans la lutte de l'organisme contre le froid ou contre le chaud extérieur. Nous en emprunterons les principaux éléments au mémoire que Léon Frédéricq (de Liège) a récemment publié sur ce sujet <sup>1</sup>.

1° L'expérience montre que *lorsque la température extérieure s'abaisse*, la peau pâlit, ses vaisseaux se resserrent et opposent un obstacle énergétique à la circulation cutanée. Les veines ne ramènent donc alors de la surface du corps qu'une faible proportion de sang refroidi. Ce sang, se mélangeant ensuite avec celui des organes internes, n'y détermine, en raison de sa faible quantité, qu'un abaissement de température insignifiant, comparé à celui produit dans les conditions ordinaires par le sang qui revient des mêmes vaisseaux cutanés. Quel est le mécanisme de cette constriction des vaisseaux? Trois hypothèses se présentent : Ou bien le froid agit directement sur les vaisseaux cutanés; ou bien il agit directement sur les centres nerveux; ou bien enfin il agit par un mécanisme nerveux réflexe, dont le point de départ est l'excitation des nerfs sensibles de la peau. On ne saurait rejeter absolument la première hypothèse, c'est-à-dire se refuser à admettre une action directe du froid sur les muscles des vaisseaux ou sur les ganglions périphériques, lorsqu'on a présents à l'esprit les faits classiques relatifs à la physiologie des muscles lisses, et lorsqu'on

<sup>1</sup> L. Frédéricq, *Sur la régulation de la température chez les animaux à sang chaud* (Arch. de biologie de Beneden, 1882).

constate, comme l'a fait Frédéricq (*op. cit.* p. 776) que des fragments d'intestin de lapin récemment sacrifié présentent, si on les place dans de l'eau froide, des vaisseaux très resserrés, et au contraire des vaisseaux dilatés si on les place dans de l'eau tiède. Mais cette action directe n'est pas la seule, et ne se produit pas avec une même intensité pour toutes les parties; elle paraît même ne jouer qu'un faible rôle pour certaines régions de la peau, puisque, d'après une autre expérience de Frédéricq, en excisant rapidement les deux oreilles d'un lapin blanc tué par section du bulbe, et en plongeant à moitié chacune de ces oreilles, l'une dans de l'eau à 42 degrés, l'autre dans de l'eau à 13 degrés, on constate que les parties exposées à l'air ne présentent, au point de vue de leur vascularisation, aucune différence appréciable avec celles qui sont soumises à l'action de la chaleur ou du froid. Quand à la seconde hypothèse, elle est réfutée aussi bien par le raisonnement que par l'expérience. En effet, nous ne saurions admettre que les centres nerveux vaso-constricteurs soient excités par le sang refroidi, puisque nous savons qu'un abaissement de température, loin d'agir comme un stimulus, déprime l'excitabilité de tous les centres nerveux. Et l'expérience démontre que l'application extérieure du froid provoque la constriction vasculaire sans qu'il y ait au préalable abaissement de la température interne : le premier effet de l'immersion dans un bain froid, ou de l'exposition de la peau à un rayonnement énergétique n'est en aucune façon une diminution de la température interne du corps, puisqu'on observe alors une légère ascension du thermomètre placé sous la langue ou dans le rectum, élévation de température due sans doute au refoulement du sang vers les organes internes. Au contraire toutes les expériences parlent en faveur de l'hypothèse d'une action réflexe. Il nous suffira de citer l'expérience suivante de Frédéricq, (*op. cit.*, p. 769). « Je coupe les poils aux pattes postérieures chez un lapin blanc de façon à apprécier à la vue les changements dans la vascularisation de la peau. Je constate alors que je puis à volonté faire pâlir les pattes en les plongeant dans l'eau froide (à 13 degrés)... il me suffit de couper le sciatique d'un côté pour supprimer l'influence de la température sur la patte opérée; elle ne présente plus les changements de teinte qui persistent dans la patte saine. » Nous pouvons donc conclure à l'exactitude de la troisième hypothèse formulée ci-dessus sur la nature de la contraction vasculaire qui suit l'application du froid : il s'agit surtout d'une *activité réflexe* des centres vaso-constricteurs, réglée par le degré de température des nerfs sensibles de la peau. Tel est le mécanisme de la résistance au froid; il aboutit à une diminution de la perte de calorique par la surface cutanée.

2° La lutte contre la chaleur exagérée doit se faire par un mécanisme inverse : Si le milieu intérieur tend à trop s'échauffer, la dilatation des vaisseaux cutanés amènera une grande masse de sang à la surface, sang qui, refroidi au contact du milieu extérieur, retournera se mélanger au sang des organes internes et concourra à y faire baisser la température. Selon une expression de Frédéricq, l'organisme sera alors comparable à un appartement chauffé dont on aurait ouvert les

fenêtres : l'air chaud de l'intérieur y est remplacé par l'air froid venu du dehors ; l'intérieur de l'appartement se refroidit au profit du dehors.

Quel est le mécanisme de cette dilatation des vaisseaux cutanés ? Une ancienne expérience de Schiff nous force à admettre que cette dilatation vasculaire est en grande partie active, due à l'irritation des nerfs vaso-dilatateurs et non uniquement à la paralysie des vaso-constricteurs ; en effet, dans cette expérience, chez des lapins qui avaient subi la section unilatérale du cordon cervical, à gauche par exemple, l'oreille correspondante présentait la dilatation vasculaire et l'augmentation classique de la température ; or, l'animal ayant été placé dans une étuve chauffée, l'oreille droite restée saine ne tardait pas à présenter une température plus élevée et une vascularisation plus considérable que l'oreille paralysée. Il y a donc là une action nerveuse évidente. Mais s'agit-il d'une action réflexe prenant son point de départ dans une irritation des nerfs sensibles de la peau, ou, inversement à ce que nous avons vu pour l'action vaso-motrice de lutte contre le froid, la chaleur agirait-elle sur les centres nerveux par l'intermédiaire du sang surchauffé ? Tout montre qu'ici l'action de la chaleur est complexe et que l'activité des centres vaso-dilatateurs est en partie réflexe, en partie automatique : elle est en partie réflexe, puisque les expériences d'Adamkiewicz ont montré que l'application d'un vase métallique rempli d'eau chaude à la peau de la cuisse provoque une hyperémie des membres inférieurs (accompagnée d'une transpiration plus ou moins abondante), et puisque Frédéricq a vu également, chez le chien et le lapin, que l'immersion de l'une des pattes de derrière dans l'eau chaude est suivie d'une dilatation vasculaire se montrant à la fois sur la patte immergée et sur l'autre, la vascularisation des pattes antérieures n'étant alors pas modifiée ; elle est automatique, c'est-à-dire résulte de l'action directe de la chaleur sur les centres nerveux, puisque les expériences nombreuses et variées de Frédéricq montrent qu'une élévation de la température interne du corps suffit à provoquer une dilatation énergique des vaisseaux cutanés, quel que soit le degré de température de la peau. Ainsi ce physiologiste, se dépouillant entièrement de ses vêtements dans une pièce où la température est peu élevée (15 degrés), de façon à provoquer un léger refroidissement de la peau, mais respirant, par un tube particulier, de l'air surchauffé et humide, constate au bout de peu de temps une dilatation générale des vaisseaux de la peau ; ici les nerfs cutanés n'ont pu être le point de départ d'un réflexe vaso-moteur, puisque la peau était froide au début, et il faut bien admettre que les centres ont été primitivement affectés par la chaleur interne. L'ingestion d'aliments ou de boissons chaudes en grande quantité provoque par le même mécanisme une congestion vers la peau.

Nous voyons donc que les vaso-moteurs jouent bien réellement dans le maintien de la température constante générale le rôle que l'on était arrivé à leur assigner a priori, et si le mécanisme de leur entrée en action dans la lutte contre le chaud est plus complexe et un peu différent de celui qui préside à leur activité dans la lutte contre le

froid, c'est sans doute que les conditions du milieu intérieur, du sang, ne sont pas les mêmes dans les deux cas : à part les circonstances exceptionnelles de séjour dans une étuve, c'est à l'intérieur de l'organisme que sont les sources d'excès de chaleur contre laquelle l'organisme doit lutter, c'est alors le sang qui est tout d'abord échauffé et qui excite directement les centres nerveux vaso-moteurs ; au contraire, dans la lutte contre le froid, c'est de l'extérieur que vient l'impression, qui doit par suite agir sur les nerfs cutanés et provoquer ainsi par voie réflexe l'activité des centres nerveux.

RÉSUMÉ. — La muqueuse respiratoire, lieu des échanges gazeux, est développée, en 1700 ou 1800 alvéoles, sur une surface de 200 mètres carrés. Les  $\frac{3}{4}$  de cette surface sont représentés par les capillaires pulmonaires (soit 150 mètres carrés), tandis que  $\frac{1}{4}$  seulement correspond aux mailles de ces réseaux capillaires.

Ces capillaires sont supportés par une charpente où domine le *tissu élastique*, et recouverts d'un *épithélium* très mince.

Ces capillaires sanguins (dont le diamètre est en moyenne de 8  $\mu$ ) forment donc une nappe sanguine de 150 mètres carrés d'étendue et d'une épaisseur de 0,008, c'est-à-dire d'un volume de 1200 centimètres cubes (soit un peu plus de 1 litre). Mais cette nappe est sans cesse renouvelée par le fait de la circulation. Or, en comptant de 70 à 75 pulsations cardiaques par minute, chacune d'elles lançant environ 180 grammes de sang dans l'artère pulmonaire, on trouve que le poumon est traversé en vingt-quatre heures par environ 20 000 litres de sang ( $180 \times 70 \times 60 \times 24 = 19\,584\,000$  centimètres cubes, soit 19 584 litres). Ce chiffre de 20 000 litres de sang est à rapprocher du chiffre, qui sera rappelé plus loin, et qui indique la quantité d'air qui passe par le poumon en vingt-quatre heures.

L'*inspiration* a pour mécanisme une dilatation active du thorax par contraction des muscles inspirateurs qui élèvent les côtes. Or, comme lorsqu'une côte s'élève, son extrémité antérieure se porte en avant, et sa convexité se porte en dehors, il en résulte une augmentation du diamètre *transverse* et du diamètre *antéro-postérieur* du thorax ; le diaphragme élève les côtes inférieures, et, par suite, contribue également à la dilatation de ces deux diamètres ; de plus, en abaissant son centre phrénique, et en modifiant la courbure de sa voûte, il augmente le diamètre vertical du thorax. Le poumon, vu le vide pleural, est obligé de suivre ce mouvement d'expansion de la cage thoracique, et, par conséquent, d'appeler l'air extérieur.

L'*expiration*, au contraire, est due à l'élasticité du poumon, qui, revenant sur lui-même, entraîne avec lui et resserre la cage thoracique. C'est ce qui a lieu dans l'expiration ordinaire ; mais lorsqu'il y a une *expiration forcée*, on voit entrer en jeu des muscles dits *expirateurs*, qui compriment fortement le thorax (abaissent les côtes, soulèvent le diaphragme en pressant sur les viscères abdominaux, etc.).

Pour apprécier les valeurs numériques relatives à la capacité des poumons et au courant d'air dont ils sont le siège, il faut distinguer :

1° l'air complémentaire (très variable selon les sujets); 2° l'air de la respiration normale (1/2 litre environ); 3° l'air de réserve; 4° l'air résiduel. La somme de ces différentes quantités représente la capacité pulmonaire, qu'on peut évaluer à 4 ou 5 litres, et qu'il ne faut pas confondre avec ce qu'on a appelé la capacité vitale (ou mieux capacité respiratoire), laquelle ne dépasse pas normalement 3 1/2 litres. Parmi ces données numériques, la plus simple et la plus importante est que chaque inspiration amène dans le poumon 1/2 litre (500 centimètres cubes) d'air.

La fréquence de la respiration (nombre des mouvements respiratoires par minute) est de 14 à 16 pour l'adulte. L'homme fait ainsi passer environ 7 litres d'air par minute dans son poumon ( $0,500 \times 14 = 7$ ), ce qui fait 450 litres par heure ( $7 \times 60 = 420$ ), soit environ 10 000 litres par vingt-quatre heures ( $420 \times 24 = 10\ 080$ ).

Le murmure respiratoire a sa principale cause dans le poumon lui-même (murmure vésiculaire).

Des 2000 litres d'oxygène qui sont introduits en vingt-quatre heures (avec les 10 000 litres d'air, puisque l'air est composé de 21 d'oxygène pour 79 d'azote), dans le poumon de l'adulte, 530 litres environ, c'est-à-dire à peu près le quart, sont retenus (employés aux combustions organiques). Par contre, il y a environ 400 litres d'acide carbonique expirés (par vingt-quatre heures).

Cet échange gazeux nous explique la transformation du sang noir (sang veineux) en sang rouge (sang artériel). En effet, il se fait au niveau de la surface pulmonaire un échange dans lequel le globule sanguin (hématie) se charge d'oxygène, tandis que le plasma du sang laisse dégager l'acide carbonique qu'il contenait en dissolution, et surtout en combinaison.

Ce n'est donc pas au niveau de la surface pulmonaire que se font les combustions respiratoires : elles se font dans l'intimité de tous les tissus (comme le prouve d'ailleurs l'étude de la chaleur animale).

Le sang est essentiellement l'intermédiaire entre les tissus et l'air extérieur pour le transport du gaz nécessaire aux combustions (oxygène), et du gaz produit par ces combustions (acide carbonique).

Si la pression extérieure diminue considérablement, l'oxygène est à une trop faible tension et le sang n'en renferme que des proportions insuffisantes pour entretenir la vie (expériences de Paul Bert. Catastrophe du Zénith. Jourdanet et le Mexique).

Si, dans un milieu confiné, l'acide carbonique s'accumule, sa pression devient telle qu'elle s'oppose à l'exhalation pulmonaire carbonique, et l'animal périt asphyxié par l'excès d'acide carbonique, quand même l'oxygène lui serait fourni en quantité suffisante (P. Bert).

Si le milieu ambiant renferme de l'oxyde de carbone, ce gaz, ayant une grande affinité pour l'hémoglobine, se porte sur le globule rouge du sang, en chasse l'oxygène, et l'animal périt asphyxié puisque le sang ne porte plus d'oxygène aux tissus.

Les effets singuliers qu'exerce l'augmentation considérable de pression extérieure sont dus (P. Bert) à la forte tension de l'oxygène.

condition qui arrête toutes les combustions corrélatives au mouvement vital.

Le système nerveux règle les actes respiratoires pulmonaires (partie mécanique de la respiration). Le centre des réflexes respiratoires est dans le bulbe (*nœud vital* de Flourens); les voies centripètes sont représentées par la *pneumogastrique* et secondairement par un grand nombre de nerfs sensitifs divers; les voies centrifuges sont représentées par les nerfs moteurs des muscles du thorax.

L'homme appartient à la classe des animaux dits à *sang chaud*, c'est-à-dire dont la température est indépendante du milieu ambiant. La température du corps (prise dans le creux de l'aisselle) est de 37°. L'homme produit de la *chaleur* : près de 3000 calories par vingt-quatre heures (environ 112 calories par heure); cette chaleur est le résultat des combustions qui ont lieu dans l'intimité de *tous les tissus* et aussi des dédoublements et autres actes chimiques très complexes dont les éléments anatomiques sont le siège, ou qui tout au moins se passent dans le sang des capillaires au niveau de ces éléments anatomiques. Aussi le sang veineux général (ventricule droit) est-il plus chaud que le sang artériel. Le sang se rafraîchit au lieu de s'échauffer en passant par le poumon.

Par les nerfs vaso-moteurs, le système nerveux règle la *distribution* de la chaleur; il en règle aussi la *production*, car les nerfs vasodilatateurs sont *calorifiques* et les vaso-constricteurs *frigorifiques*.

### III. — Du larynx et de la phonation.

De même que nous verrons bientôt les téguments externes se modifier en certains points de manière à devenir plus aptes à recevoir les impressions du monde extérieur et constituer ainsi les *organes des sens*, de même nous voyons le conduit aëriifère de la respiration présenter au niveau de la partie supérieure du cou une disposition spéciale qui constitue le *larynx*, organe apte à mettre l'homme en relation avec le monde extérieur et particulièrement avec ses semblables. Cet appareil forme donc l'un des organes les plus importants qui servent aux *fonctions de relation*, car il constitue notre principal moyen de communication, d'expression, en un mot.

Les autres moyens de communication et d'expression se trouvent disséminés dans les divers organes extérieurs. C'est ainsi que les *membres* et surtout les *membres supérieurs* sont des organes d'expression dont les signes sont en général très aisément interprétés. La *musculature de la face* est également un appareil d'expression tout particulier. Tous ces muscles, à l'exception de